卒業研究報告

題目

光励起による拡散層欠陥の識別

報 告 者

学籍番号: 1120204
氏名: 柳原 健二

指 導 教 員

眞田 克 教授

平成 24年 2 月 13 日

高知工科大学 電子･光システム工学科

目次

第１章　はじめに 3
1.1 研究の背景 3
1.2 研究の目的 3
1.3 論文構成 3
第２章 OBIC について 4
2.1 OBIC とは 4
2.2 装置について 4
2.3 光励起の原理 5
2.4 光電流の原理 6
第３章 サンプル開封工程 9
3.1 使用サンプル 9
3.2 薬品開封 9
3.3 RIE 13
3.4 動作確認 16
第４章 Tr の内部変化と OBIC 像との関係 19
4.1 光電流の変化 19
4.2 AND 回路 21
第５章 OBIC 装置による解析 25
5.1 エキシマレーザによる破壊 25
5.2 OBIC 装置による解析 29
5.3 OBIC 装置による解析 2 31
第６章 結果および考察 34
結果 34
考察 34
まとめ 35
謝辞 36
参考文献 36

第１章　はじめに

1.1　研究の背景

近年，LSI の大規模化・多層配線構造化は飛躍的に発展を遂げている．それに伴い LSI の内部故障も増加しており，目視では確認できない故障を解析するための技術が必要とされている．

そのための手法として OBIC を用いた故障解析技術がある．OBIC とは，半導体素子の光に対する反応を可視化するもので，レーザ照射によって空乏層内で発生した光電流を検出し，電流値の大小を輝度で表すことができる（OBIC 像）．この手法を用いることにより内部故障個所の特定も素早く行うことができる．

1.2　研究の目的

現在用いられている主な故障解析方法としてフォトエミッション顕微鏡解析，SEM，など赤外線や X 線を用いた故障解析技術がある．

本実験ではそういった解析技術のひとつである OBIC を用いた故障解析技術について学ぶ．正常サンプルでの Tr の入力記号による内部変化と OBIC 像との関係性を理解する．またサンプルに故障を作成し，正常サンプルの OBIC 像と比較することにより故障個所の特定を行うことを目的とする．

1.3　論文構成

2 章では OBIC 装置や光電流の原理について述べる．3 章では正常サンプルの作成過程と RIE 装置，動作チェック方法について述べる．4 章では正常サンプルでの Tr の入力信号による内部変化と OBIC 像との関係性について述べる．5 章では故障サンプルの作成過程について述べ，作成した故障サンプルによる OBIC 像を用いた故障箇所の検出について述べる．6 章ではそれぞれの結果と考察について述べる．

第２章　OBIC について

本章では OBIC について述べる

2.1 OBIC とは

OBIC(Optical Beam Induced Current)とは

Optical：光学の
Beam：ビーム
Induced：誘発された
Current：電流
の頭文字をとったもので、光電流を指す。

2.2 装置について

図 2-1：OBIC 装置(JDLM-6602E)

OBIC 装置は共焦点レーザ顕微鏡（CLSM：Confocal Laser Scanning Microscopy）に使用するレーザを光源として利用することにより，光学像と OBIC 像を観察できる装置である．本実験で使用したレーザは He-Ne レーザの発振波長 632.8nm である．共焦点レーザ顕微鏡はレーザ光をプローブとして試料を規則的に走査し、反射光を検出する．焦点と共役の位置にピンホールが設置されており，焦点位置からのみの散乱光を選択し，ピンボケの原因となる光を遮断することによって鮮明な画像を得ることができる．また，共焦点レーザ顕微鏡は取得した画像情報をコンピュータ上で再構築することにより三次元情

報イメージを作成することが可能であり，二次元，三次元画像処理を行うことが可能である．

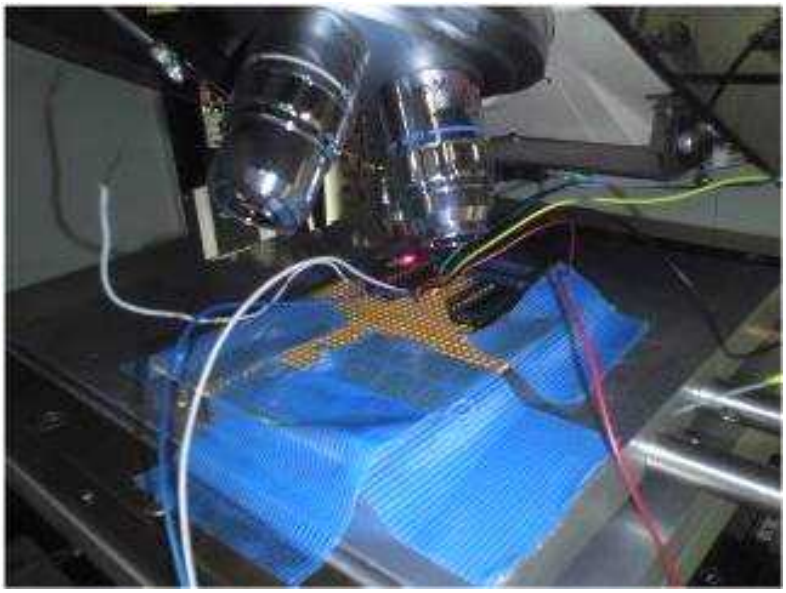


図 2-2：共焦点レーザ顕微鏡

本実験では OBIC 装置により，PN 接合面に発生する光電流を検出することによって故障個所の特定をおこなった．PN 接合面における光電流の発生原理について説明する．光電流を説明するに当たり，まず光励起の原理について説明する．

2.3 光励起の原理

レーザなどの光源が半導体に照射されたとき，光源 hν のエネルギーが半導体のバンドギャプより大きければ，電子が価電子帯 Ev から伝導帯 Ec へと励起され，電子が抜け出た価電子帯には正孔が発生する．この現象を光励起と呼ぶ．

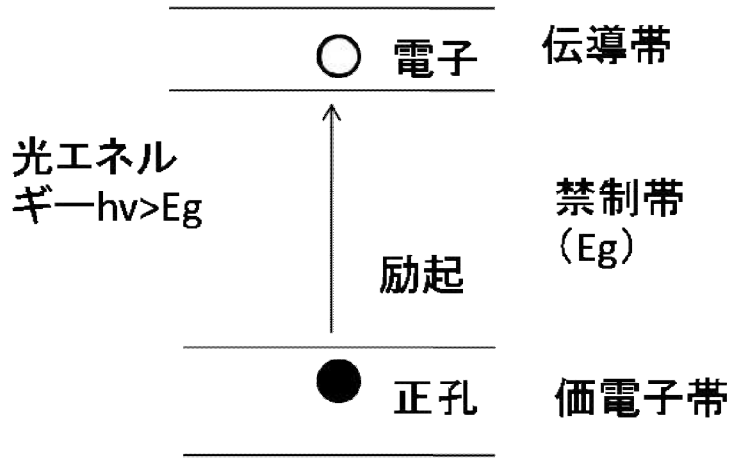


図 2-３：光励起

光源のエネルギーがバンドギャップより小さいと電子は伝導帯に上がることができず励起は起こらない.
本実験に置き換えて考えてみると，使用したサンプルのバンドギャップはシリコンの Eg=1.17[eV]で，使用した OBIC 装置の波長 λ=632.8[nm]
エネルギーの計算式は E=hc/λ[J]
h：プランク定数 6.63×10^－34[J/s]
c：光速 c＝3.0×10^8[m/s]
λ：632.8[nm]
E の単位は J なので 6.24×10^8 をかけ eV に変換する.
結果 E は 1.96[eV]で E>Eg となり OBIC 装置の光源である He-Ne レーザは十分に励起を起こすことができる.

2.4 光電流の原理

励起によって発生した電子・正孔は正の固定電荷と負の固定電荷による電界ドリフトで電子は N 領域へ，正孔は P 領域へと移動していく．このキャリアの移動によって発生する電流を光電流という．接合部のある半導体の場合は外部電圧を印加しなくても光電流を検出できる．発生する光電流は微小なため，OBIC 装置では DOB アンプで光電流を増幅することにより観察を行っている.

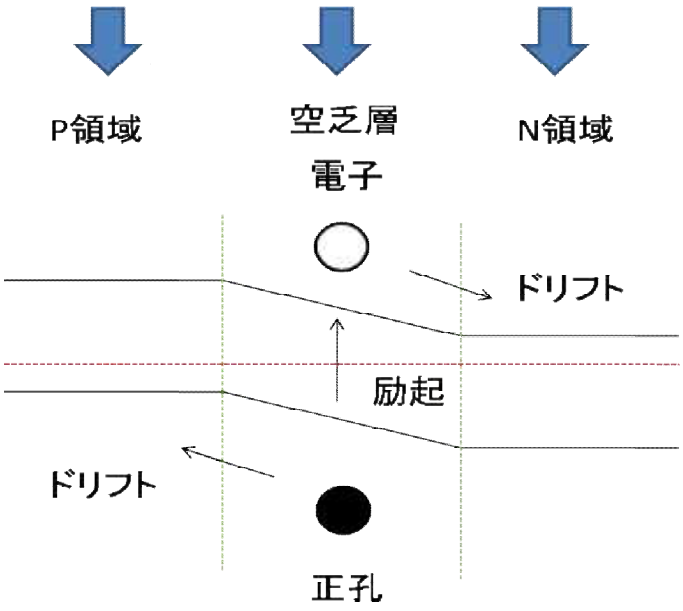


図 2-4：光電流

光電流は PN 接合面での空乏層に発生する．このことから OBIC 装置では，光電流を輝度で表し可視化することにより PN 接合面で発生する空乏層の観察をすることができる．本実験では正常品と故障品で OBIC 像(空乏層)を比較することにより，故障箇所の特定を行う．

OBIC でジャンクションに電圧を印加し観察をする際は，基本的に逆バイアスで行う．PN ジャンクションに逆バイアスが印加されている場合は接合部の空乏層が発達する．そして N 層側には多数キャリアの伝導電子が，P 層側には多数キャリアの正孔が集まる．

ここで空乏層以外の部分に光が照射された場合は，励起によって発生した電子・正孔対は電界強度が弱くドリフト速度は非常に遅い．そこで少数キャリアは周りに存在する多数キャリアと結合し，キャリアの発生は無かったことになり、OBIC は発生しなかったことになる．

空乏層に光が照射された場合は，空乏層内で発生した電子・正孔対は電界によってドリフトし，それらのキャリアは再結合等によって消滅することなく外部に流れ出す．これが PN ジャンクションの OBIC となる．

図 2-5 は共焦点レーザ顕微鏡での光学像で, 図 2-6 がレーザによって発生した光電流を輝度によって可視化し表した OBIC 像である.

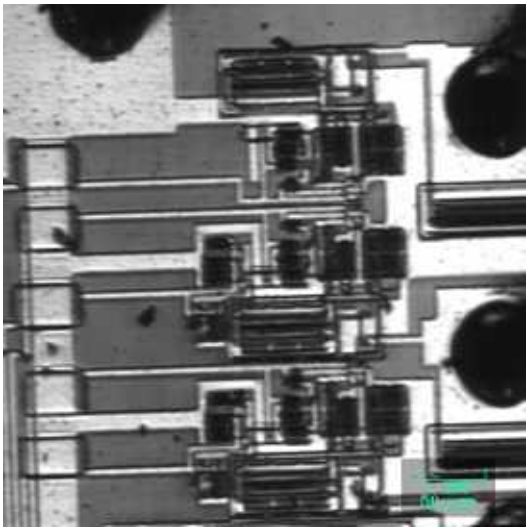


図 2-5：光学像

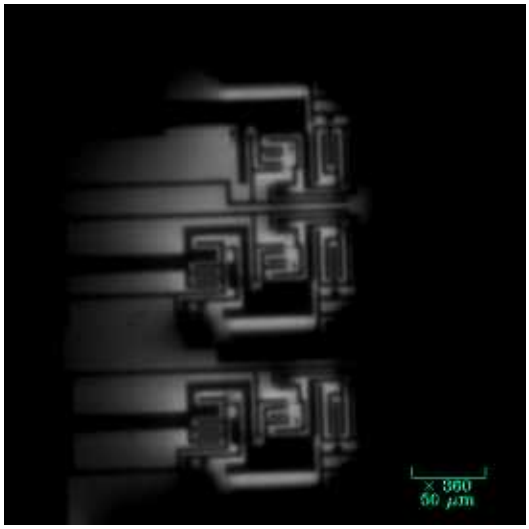


図 2-6：OBIC 像

図 2-7 は光学像を緑色とし、OBIC 像を赤色として重ね合わした合成図である.

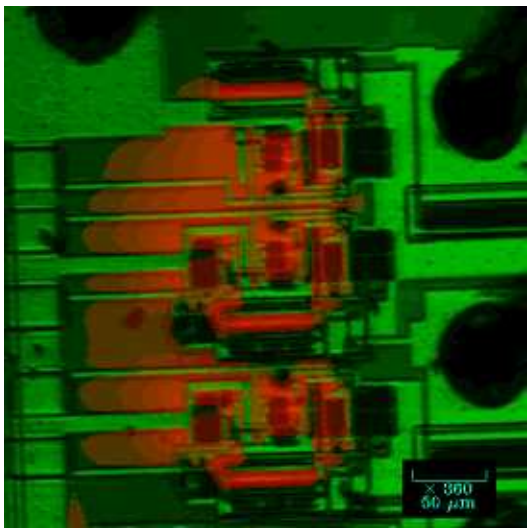


図 2-7：合成図

第３章　サンプル開封工程

本章ではサンプル作成の手順について述べる

3.1 使用サンプル

本実験では図3-1の東芝製汎用ロジックICのAND回路TC4081BPを使用した．TC4081BP は 4 回路の AND 回路である．図 3-1 と図 3-2 のピン番号はそれぞれ対応しており VDD と VSS，各入出力を確認できる．OBIC 装置を使用する際には 14-7 ピンの VDD から VSS に逆バイアスを印加することにより OBIC 像の観察を行った．

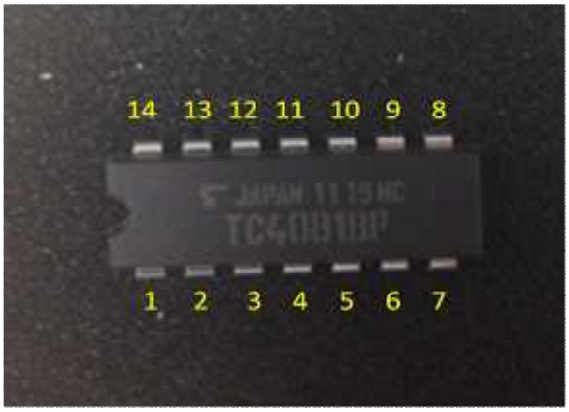


図３-１：TC4081BP

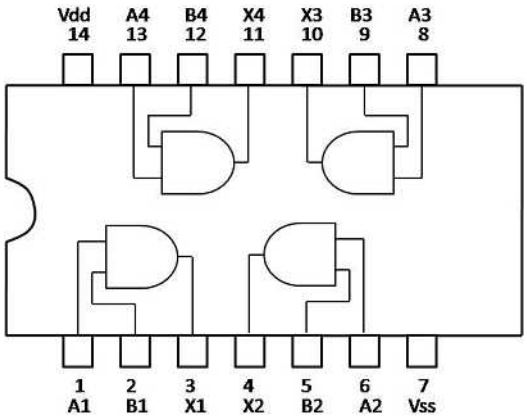


図３-２：ピン接続図

3.2 薬品開封

本実験では LSI のチップを観察するために発煙硝酸を用いたパッケージ開封を行った．発煙硝酸の煙は有害であるため作業はドラフト装置内で行い，薬品を扱う際には危険なのでゴム手袋を使用した．

エッチングの際に使用した薬品は以下のとおりである．

発煙硝酸(3HNO)

アセトン

発煙硝酸はパッケージを溶かす際に使用し，アセトンはパッケージを溶かした後の洗浄の為に使用した．

薬品エッチングを行う前には LSI に下処理を行う．その作業手順を以下に示す．

1，LSI の表面をチップが露出しない程度に削る．

この作業は薬品エッチングする際に LSI を発煙硝酸に浸ける時間を短縮し，作業時間の短縮が目的で，チップや足へのダメージを最小限に軽減するために行う．パッケージを削る際にはチップまで届かないように削る深さに注意する．

図 3-3：処理後

2，削ったサンプルをアルミテープでラッピングする．

溶かしたいチップ上面以外の部分に発煙硝酸が入り込まないようにアルミテープで密閉する．ラッピングの際にはピンセットを使用し空気が入らないように包む，この際ピンセットで傷つけ穴を開けないように注意する．ラッピングが完了したらチップ上の窪みにそってアルミテープをカットし，チップに穴を開ける．

図 3-4：ラッピング処理

ラッピング工程が終了すると薬品エッチングに入る．工程を以下に示す．

① ドラフト装置の電源を入れファンを起動する．
② ヒーターの電源を入れ発煙硝酸を約 100 度で加熱する．これは発煙硝酸を加熱することでエッチングに最適な活性度にする為である．注意点としては発煙硝酸の温度が上がり過ぎないようにする．
③ LSI を発煙硝酸に浸け込み，図 3-5 のようにパッケージの溶け具合を目で確認しながら待つ．

図 3-5：薬品処理

④ チップを確認することができたらアルミを剥がし，図 3-6 のようにアセトンに浸け込み超音波洗浄機に約十分かけ洗浄を行う．洗浄が不十分だと溶けた樹脂がチップの表面にゴミとして残り観察の妨げとなる場合があり，逆に洗浄しすぎるとボンディングワイヤが跳んでしまう可能性があるので注意する．

図 3-6：超音波洗浄機

3-7 はパッケージ開封が完了した LSI である．中央にチップを確認することができる．

図 3-7　完成品

図 3-8 は開封した LSI のチップの光学顕微鏡像である．表面に多少のゴミと保護膜が残っているのが観察できる．

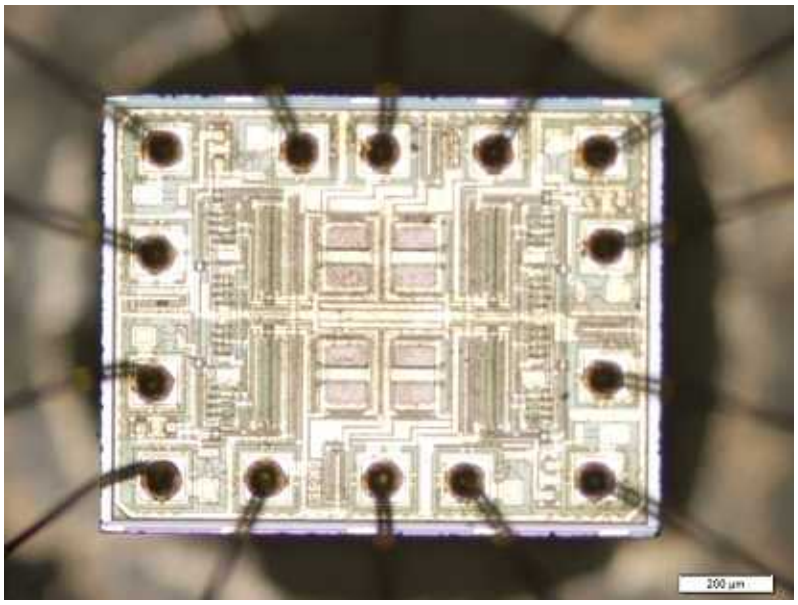


図 3-8：光学顕微鏡図

3.3 RIE

今回の実験ではチップ表面の観察を主とする．よって保護膜が観察の妨げとなる場合がある．そのため RIE 装置によって保護膜の除去を行った．基本的にポリミド膜の除去は行ったが，絶縁酸化膜は表面の見え方にあまり影響がない為必要に応じて除去を行った．

1，RIE 装置

RIE(Reactive Ion Etching)装置は反応性エッチングを行うための装置である．反応性イオンエッチングは、エッチングガスに電界を加えプラズマ化し，試料を置いてある陰極に高周波電圧を印加することにより，イオンやラジカルが試料方向に加速し衝突させエッチングを行う．

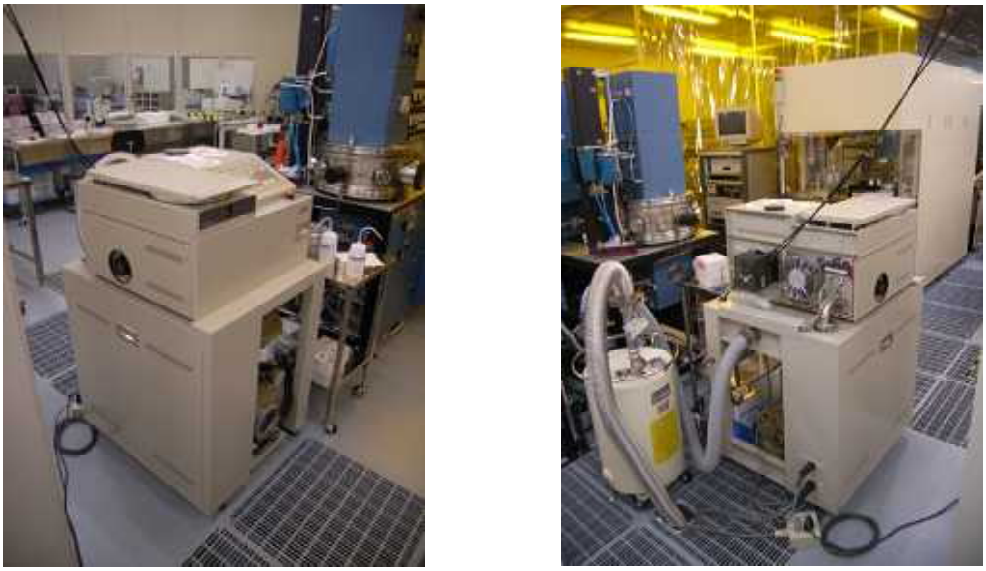


図 3-9：RIE 装置

図 3-9 は本実験で使用した RIE 装置である．
方式は平行平板型で等方性／異方性と両方式のエッチングが可能である．
使用可能ガスは CF4，SF6，CHF3，O2，N2，Ar の内 3 種類
本実験では CF4 と O2 のガスを使用し異方性のエッチングを行った．

表 3-1：エッチング条件(ポリミド膜)

真空度		180mTorr
ガス流量	CF4	10sccm
	O2	30sccm
高周波出力		80W
ステージ温度		50℃
エッチングレート		5000A/min

表 3-1 はポリミド膜を除去する際に使用したエッチング条件である．
取扱説明書に書いてある推奨エッチング条件を参考にし，ガス流量の比率を CF4：O2 = 1：3 として、上記の条件で約 8 分間のエッチングを行った．

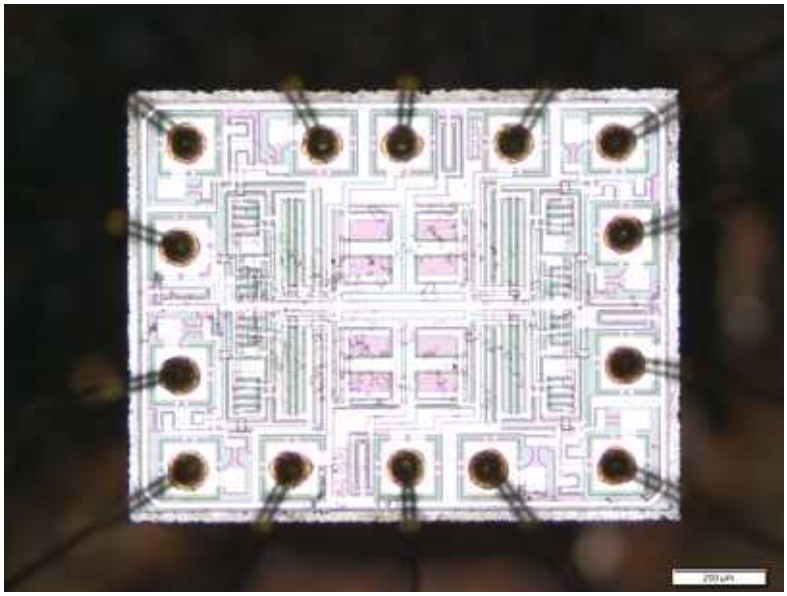


図 3-10：ポリミド膜除去サンプル

図 3-10 は図 3-9 のサンプルを RIE 装置にかけポリミド膜を除去したものである．多少ゴミが表面に出てしまっているが，ポリミド膜が無くなったことで RIE にかける前よりも表面をクリア見ることができる．

表 3-2：エッチング条件(酸化膜)

真空度		180mTorr
ガス流量	CF4	30sccm
	O2	15sccm
高周波出力		80W
ステージ温度		30℃
エッチングレート		1000A/min

表 3-2 は酸化膜を除去する際に使用したエッチング条件である．
こちらも取扱説明書の推奨エッチング条件を参考のもと，上記の条件で約 5 分間のエッチングを行った．

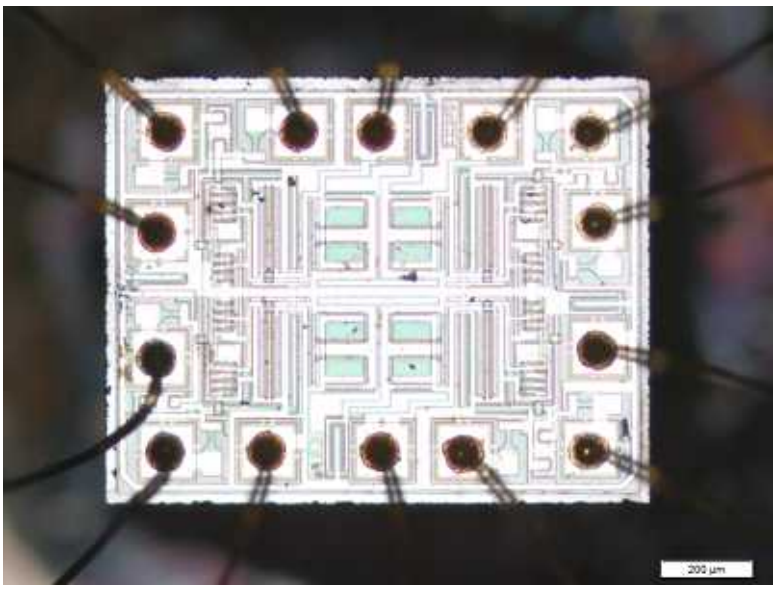


図 3-11：酸化膜除去サンプル

図 3-11 は上記の設定で酸化膜を除去したものである．

3.4 動作確認

樹脂開封した LSI の動作確認を行った．これは薬品エッチングや RIE の工程でチップにダメージが及んでいる可能性があるためである．
図 3-12 は動作を確認するための LSI テスター（HPG-3000N）である．この LSI テスターはデバイスへの入力信号を各ピン毎に設定し，その時のデバイスの出力が期待値に対応しているかを測定することができる．また，電源電流を測定する IddQ テストを行うことができる．

図 3-12：LSI テスター（HPG-3000N）

図 3-13 サンプルの導通を良くするために紙ヤスリを使い研磨したものである．LSI の足に薬品などが付いて固まり接触不良が起こる場合がある．

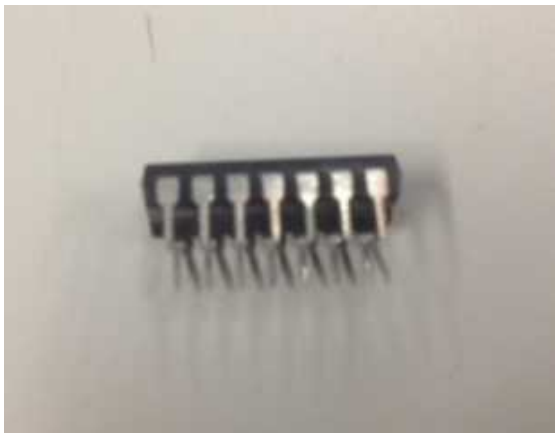


図 3-13：研磨

LSI と LSI テスターの接続には図 3-13 のような治具を使用した.

図 3-14：治具

上記の治具に LSI を設置させる．ソフトのピン番号と基盤のピン番号を合わせた後，図 3-2 のピン接続図のピン番号をもとに LSI と基盤とのピンを合わせる．ピンのグループとそれぞれのタイプを設定し，グループの信号パターンを設定する.

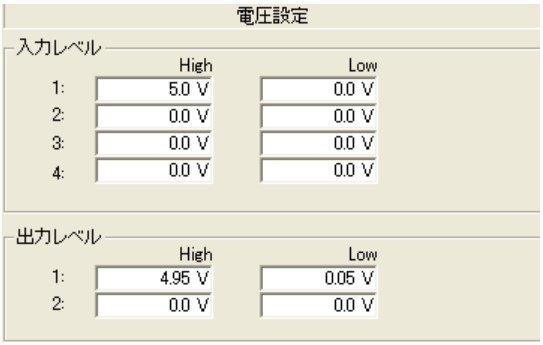
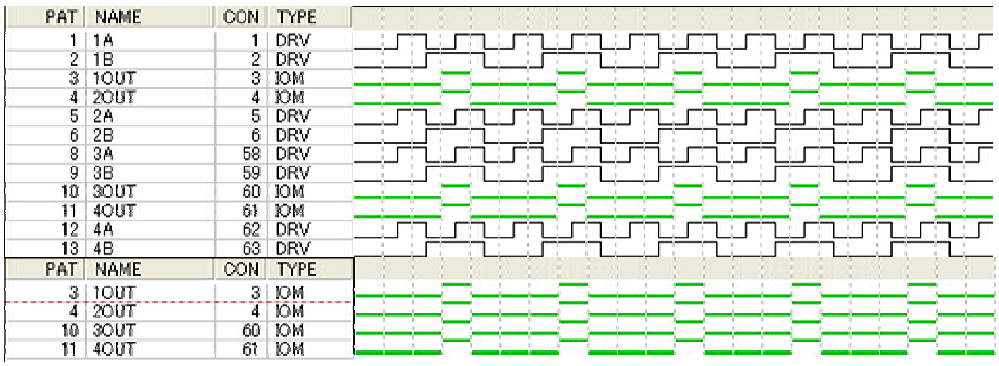


図 3-15：電圧設定

図 3-15 は作成したサンプルを測定する際に使用した電圧設定である．デバイスの入力レベルを High の時 5V，Low の時 0V と設定し、出力しきい値レベルを 4.95V 以上の時 High，0.05V 以下の時 Low となるように設定した.



PAT	NAME	CON	TYPE
1	1A	1	DRV
2	1B	2	DRV
3	1OUT	3	IOM
4	2OUT	4	IOM
5	2A	5	DRV
6	2B	6	DRV
8	3A	58	DRV
9	3B	59	DRV
10	3OUT	60	IOM
11	4OUT	61	IOM
12	4A	62	DRV
13	4B	63	DRV

PAT	NAME	CON	TYPE
3	1OUT	3	IOM
4	2OUT	4	IOM
10	3OUT	60	IOM
11	4OUT	61	IOM

図 3-16：ファンクションテスト

図 3-16 **は上記の設定での結果である．デバイスの入力に任意のパターンを入力し、その時のデバイスの出力が期待値に対応しているかチェックした．**

表 3-3 **は** AND **回路の真理値表である．上記の結果はこの真理値表通りのピン設定，パターン設定し，その時の期待値が表通り対応している．以上のことからこのサンプルは正常に動作しているといえる．**

表 3-3：AND 真理値表

A	B	X
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

以上までの工程でサンプルの作成が完了となる．

第４章　Tr の内部変化と OBIC 像との関係

本章では LSI 内での Tr の入力信号による内部変化と OBIC 像との関係性について述べる

4.1 光電流の変化

OBIC像は光電流の大小を輝度として可視化したものである．Trにレーザを照射したとき，そのTrのon状態とoff状態によって光電流が発生する場合としない場合がある．

図4-1はNOT回路の入力端子（G:ゲート）にlowの電位を印加した時に，レーザを照射し光電流を発生させた例である．Nchがoff状態のときにNchのドレイン部にレーザを照射すると励起により発生した電子，正孔が電極に引かれることで光電流が発生する。

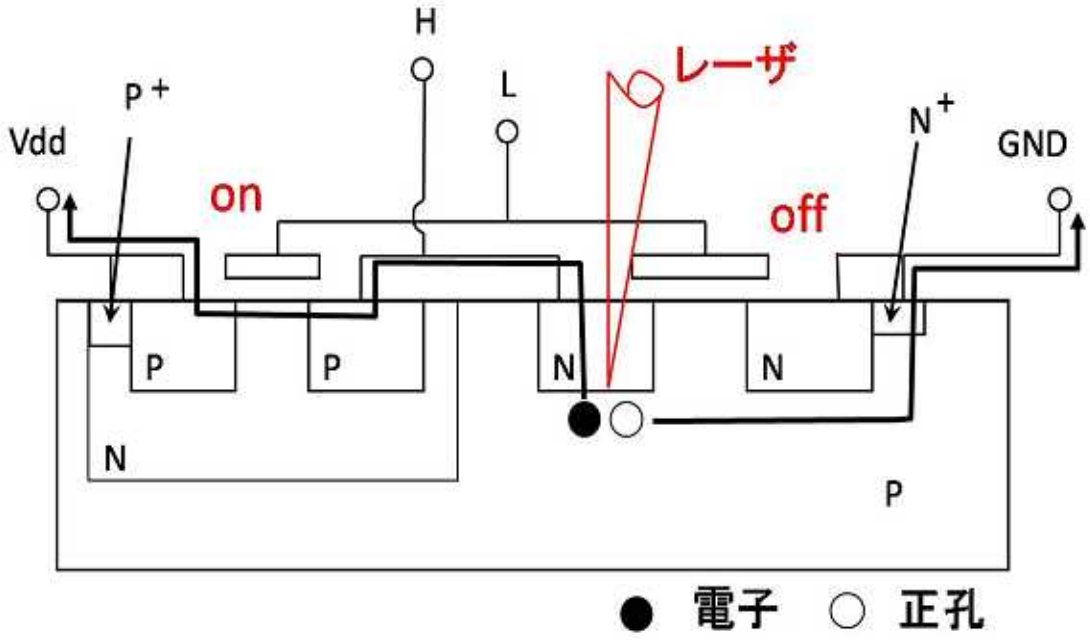


図 4-1：Nch が off 状態でレーザ照射した場合

しかし，図 4-2 のように入力端子に high の電位を印加し，Nch が on 状態のときにドレイン部にレーザを照射すると励起により発生した電子，正孔は Nch のソース電極部で再結合するため光電流は発生しない．

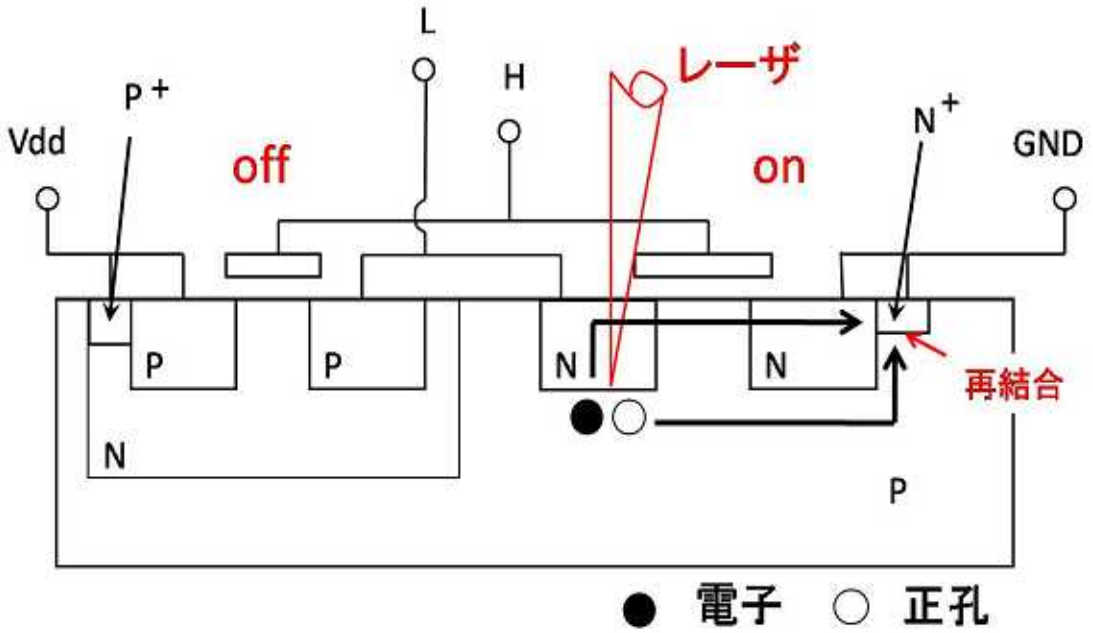


図 4-2：Nch が on 状態でレーザ照射した場合

Pch が off 状態のときに Pch のドレイン部にレーザを照射すると，Nch の off 状態のレーザ照射のときと同じく光電流が発生し，Pch が on 状態のときに Pch のドレイン部にレーザを照射すると，Nch の on 状態のレーザ照射のときと同じく光電流が発生しない．以上のことから NOT 回路で Tr にレーザを照射する場合，Tr が off 時にレーザ照射すると光電流が検出され，on 時にレーザ照射すると光電流が検出されないことが確認できる．

このようにPch，NchそれぞれのTrの電気的特性が異なると，レーザを照射する位置によって電流が発生する場合と発生しない場合があり，この現象を使ってそのトランジスタの内部動作を確認することができる．この現象を良品と故障品で比較を行うことで故障解析が行える．

4.2 AND 回路

続いて, 第三章で作成したサンプルの入力記号による内部変化と OBIC 像との関係性を調べた．図 4-3，図 4-4 はサンプルを光学顕微鏡で見たもので，Tr の存在箇所と配線を合成し表した図である．

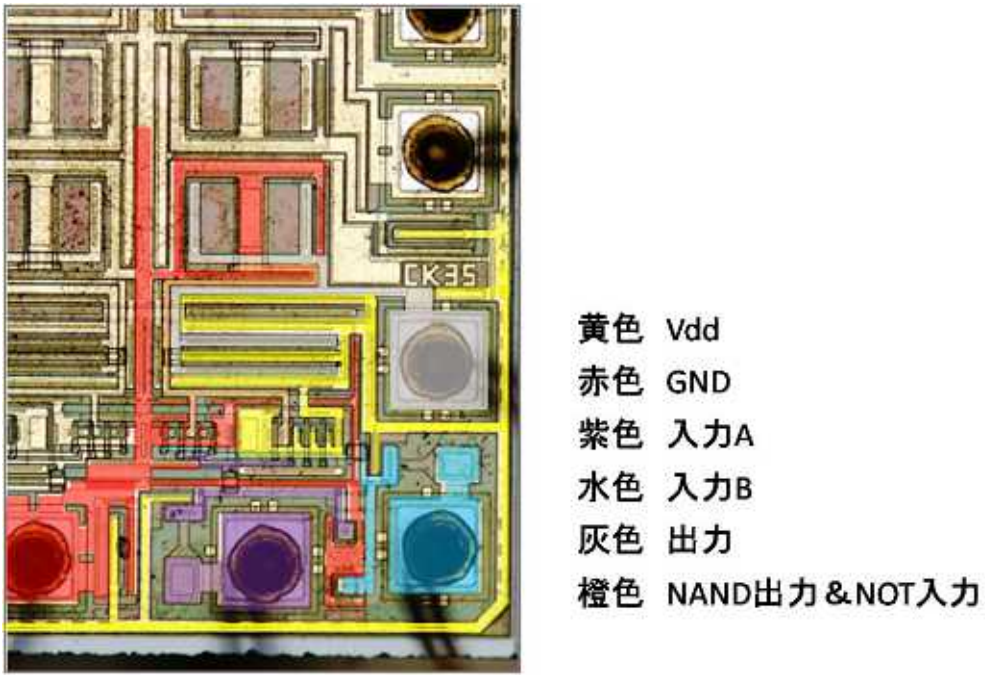


図 4-3：TC4081BP レイアウト

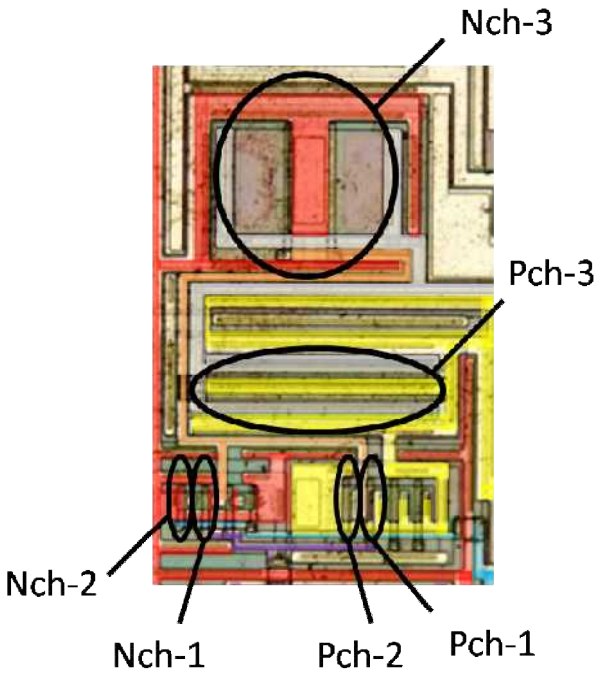


図 4-4：拡大図

図 4-5 は, 上記の AND 回路の論理図である. Pch1, Pch2 と Nch1, Nch2 の NAND 回路と Pch3，Nch3 の NOT 回路で構成されている.

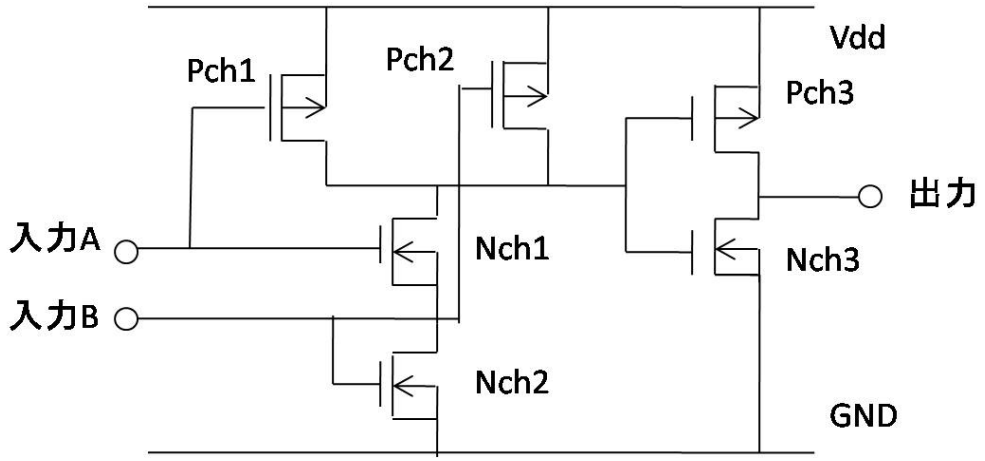


図 4-5：AND 回路論理図

図 4-6，図 4-7 は図 4-4 の箇所を共焦点レーザ顕微鏡で見た図である．図 4-6 は光学像で，図 4-7 はレーザによって発生した OBIC 像となっている．この図 4-7 が，Tr の内部変化によりどのような変化をするか観察を行った.

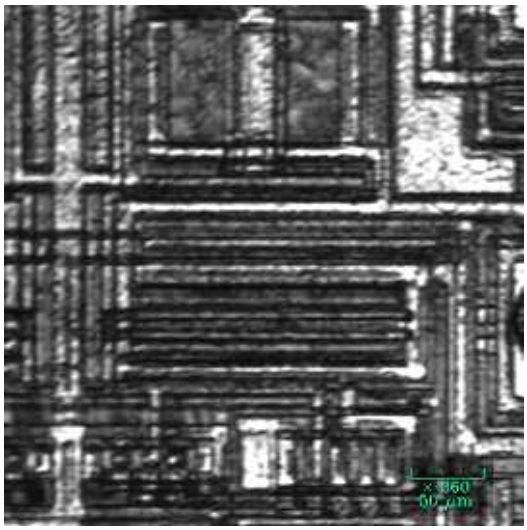


図 4-6：光学像

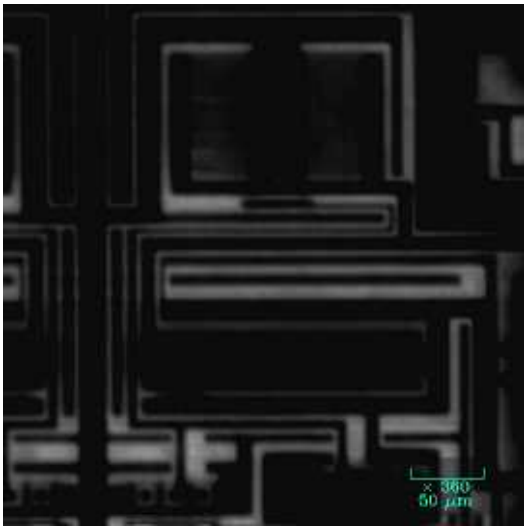


図 4-7：OBIC 像

本実験ではサンプル内の Tr を内部変化させるため，回路の入力 A，B に 0～3V の電圧を印加して行った．また本実験での OBIC 像は回路全体にレーザ照射を行っているため，Nch と Pch に同時にレーザ照射を行っていることになる.

図 4-8 は入力 A，B 共に 3V のときである．図 4-7 と比べ Nch3 の部分に光電流が発生し輝度が増していることが分かる．この時の Pch3 は on 状態で，Nch3 は off 状態となっている．

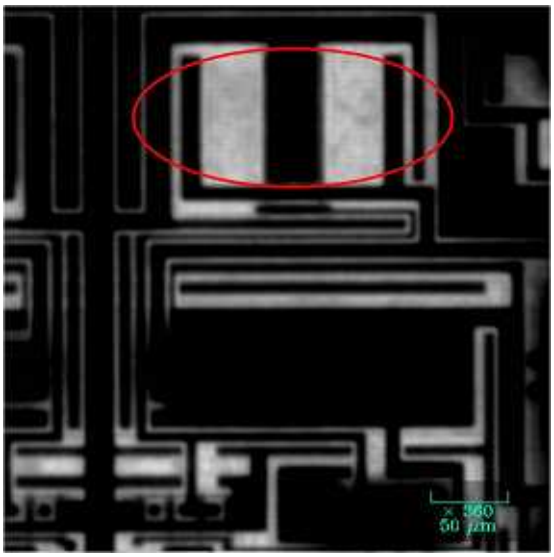


図 4-8：入力 A,B 共に 3V のとき

図 4-9 は入力 A，B 共に 0V のときである．図 4-7 と比べ Pch3 の部分に光電流が発生し輝度が増していることが分かる．この時の Nch3 は on 状態で，Pch3 は off 状態となっている．入力 A が 3V，入力 B が 0V のときと，入力 A が 0V，入力 B が 3V のときの観察も図 4-9 と同様の結果を示した．

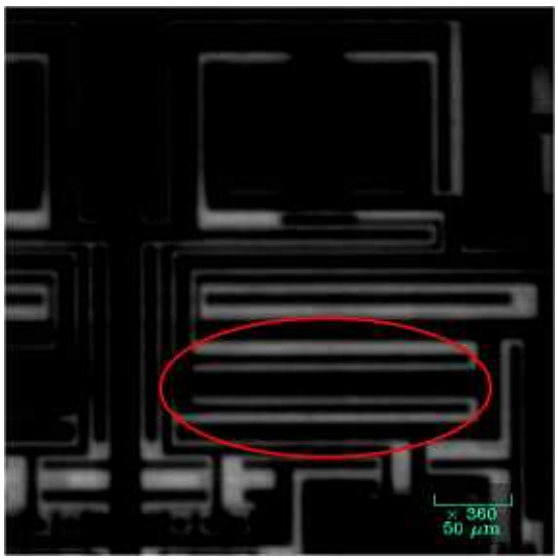


図 4-9：入力 A,B 共に 0V のとき

以上の行った 4 パターンの実験から，AND 回路内にある NOT 回路の Pch3，Nch3 が off 状態のときに光電流が発生していることが確認できた．また，Pch が off 状態のときより Nch が off 状態ときの方が輝度の増し方が大きいことが確認できた．

以上までの工程で，Tr の入力記号による内部変化と OBIC 像との関係性を観察することができた．

第５章　OBIC 装置による解析

本章では故障サンプル作成及び、サンプルの OBIC 装置による解析について述べる

正常品サンプルの作成工程が完了したので, 続いては OBIC 装置による解析, 及び比較するための故障サンプルの作成を行った．今回の実験ではエキシマレーザを使用し，故障の作り込みを行った.

5.1 エキシマレーザによる破壊

エキシマレーザは希ガスやハロゲンなどの混合ガスを用いてレーザ光を発生させる装置である．エキシマレーザを用いてオープン故障の作成及びピンホール破壊の作成を行った．本実験での使用サンプルはレーザによる破壊を起こしやすくするために RIE で保護膜を除去した.

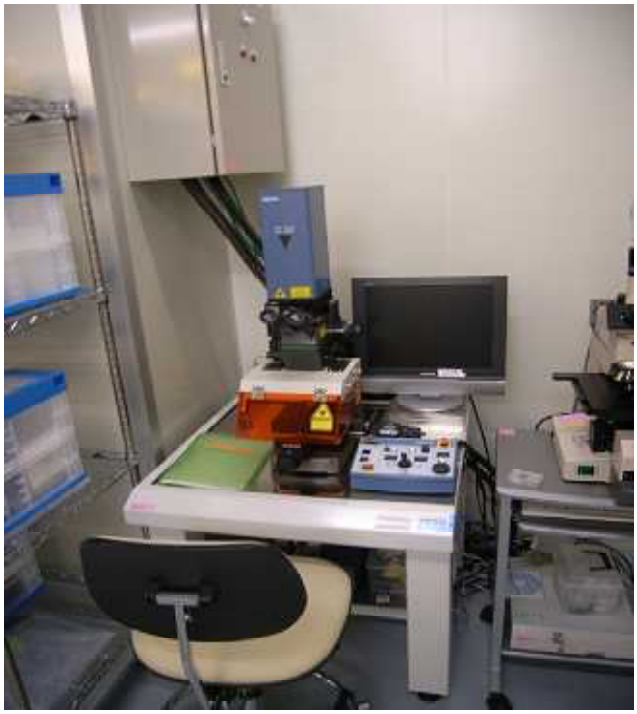


図 5-1：エキシマレーザ

図 5-1 は本実験で使用したエキシマレーザである．使用したレーザは YAG の第二高調波で発振波長は 532nm，最小加工径は 1μm となっている.

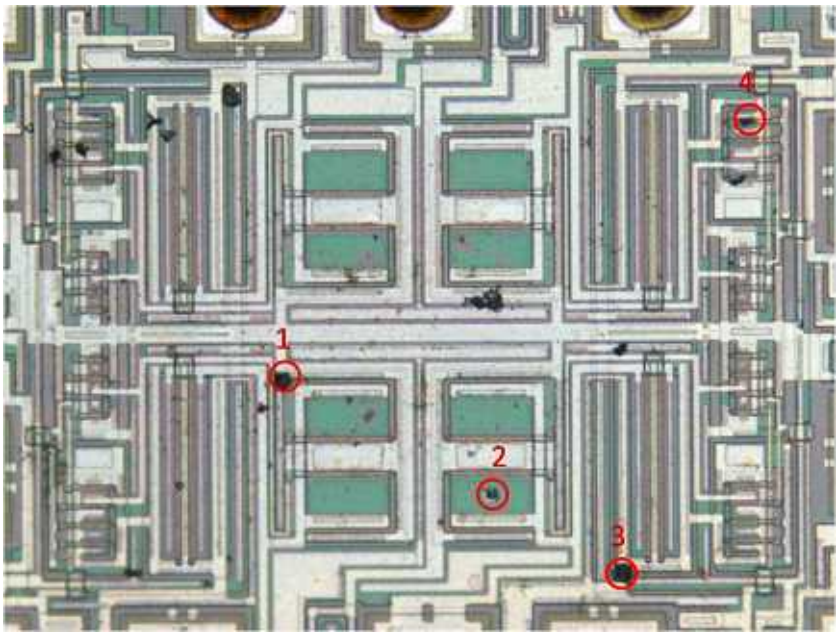


図 5-2：エキシマレーザ破壊サンプル

図 5-2 **はエキシマレーザで故障を作り込んだ故障サンプルである．**4 **つある** AND **回路のうち** 3 **つに故障を作り，ひとつは正常な回路として残した.**

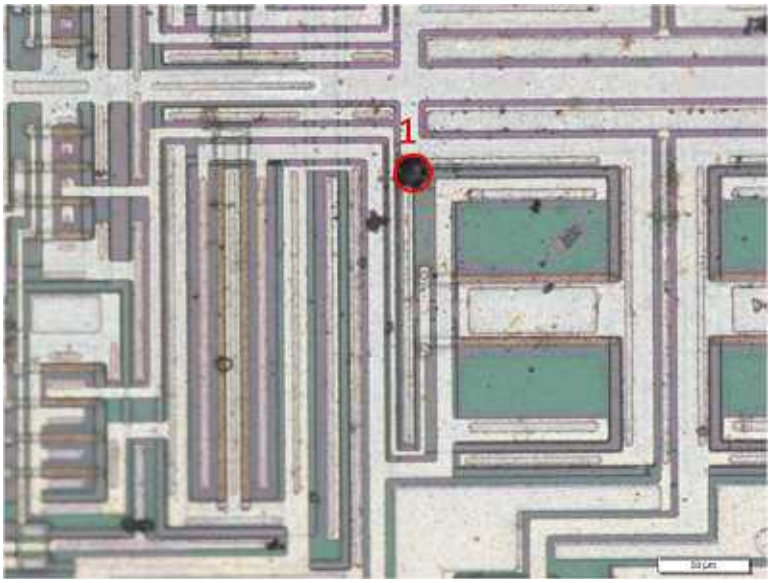


図 5-3：故障箇所 1,

図 5-3 **は図** 5-2 **の** 1 **の破壊箇所を拡大したものである．赤丸の箇所にレーザを照射し，**GND **オープンを行った.**

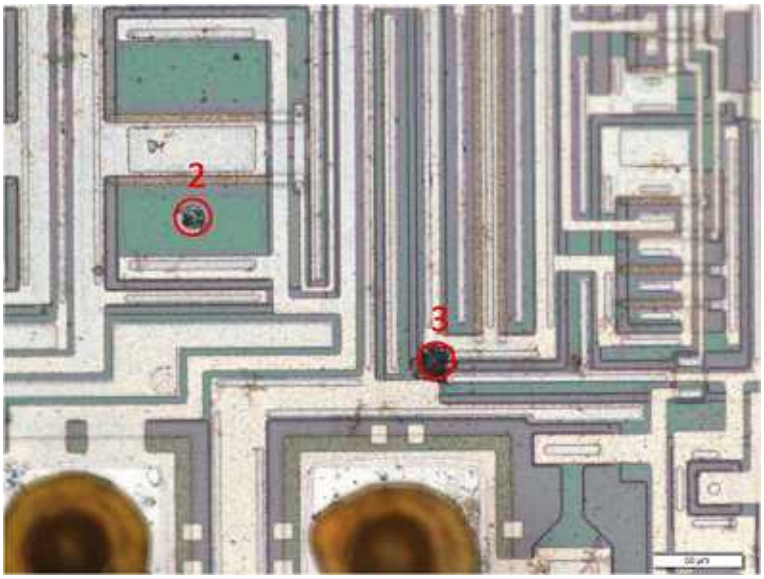


図 5-4：故障箇所 2,3

図 5-4 は図 5-2 の 2,3 の破壊箇所を拡大したものである．2 は拡散層より PN 接合面に向けレーザを照射し，3 は Vdd オープンよりレーザを照射した.

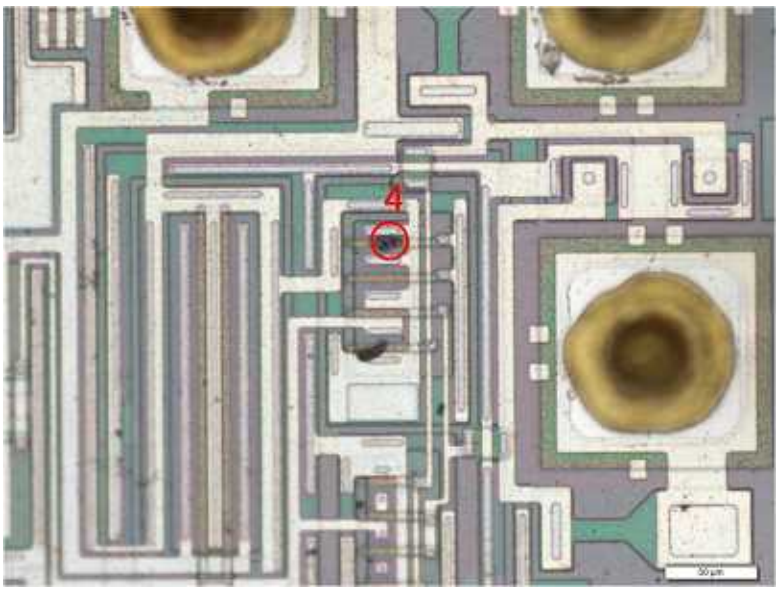


図 5-5：故障箇所 4

図 5-5 は図 5-4 の 4 の破壊箇所を拡大したものである. Pch 側面よりレーザを照射した.

図 5-6 は故障を作り込んだサンプルに LSI テスターで測定した結果である．線が赤色になっている部分が出力の期待値と異なる値が出た箇所である．

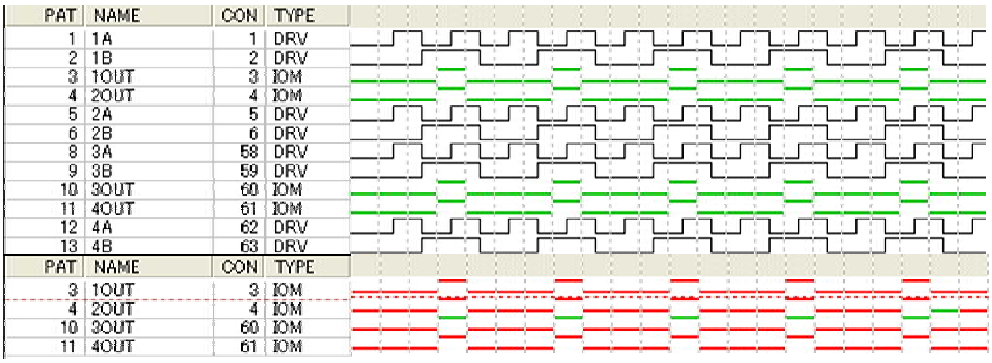


図 5-6：故障ファンクションテスト

続いてテスターでサンプルの IddQ テストを行った．図 5-7 は両サンプルの IddQ グラフである．IddQ は Tr がスイッチングしていない時に流れる電源電流である．本来の CMOS LSI は論理の静止時にわずかな電流しか流れない．しかし，故障が発生すると電流が大きくなる．今回故障を作り込んだサンプルは図 5-7 に示されており，45mA 以上の IddQ が流れていることが判明した．

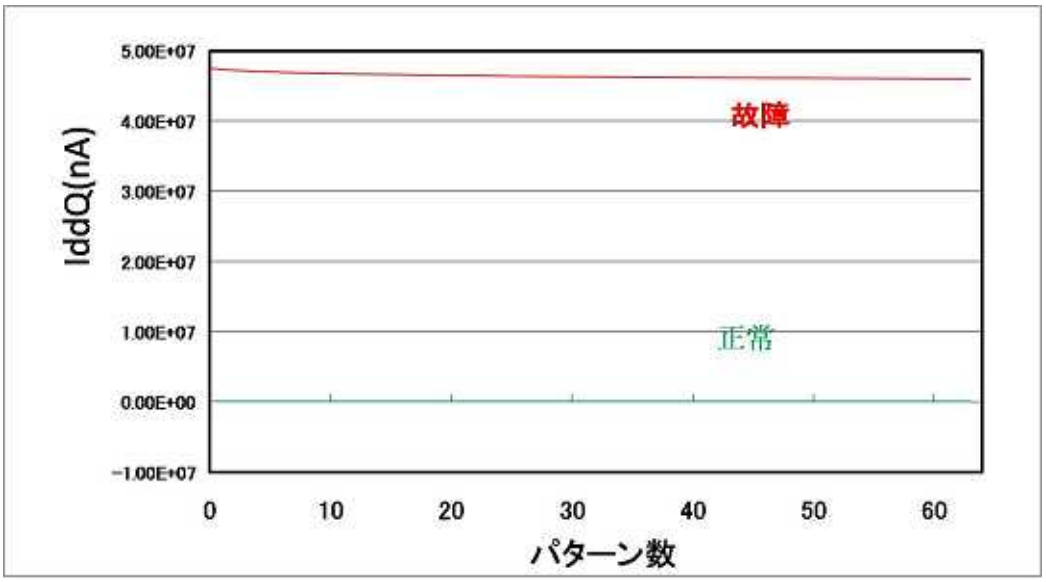


図 5-7：IddQ グラフ

5.2　OBIC 装置による解析

正常サンプルと故障を作り込んだサンプルの OBIC 像を比較することにより故障箇所の特定を行った．図 5-7 は正常サンプルの OBIC 像である．図 5-8 は図 5-3 で故障箇所 1 を作り込んだ AND 回路の OBIC 像である．下記の図は倍率 360 倍で観察した OBIC 像となっている．

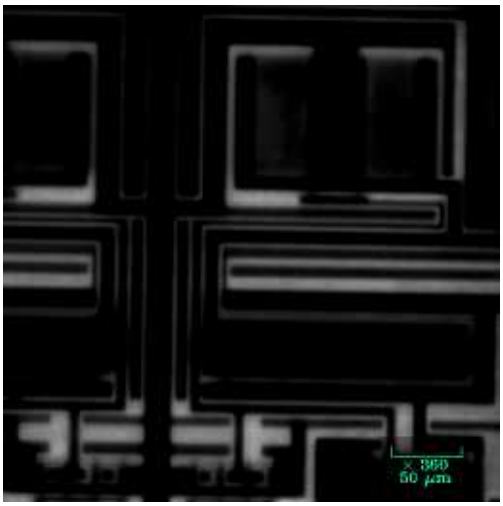


図 5-7：正常サンプル

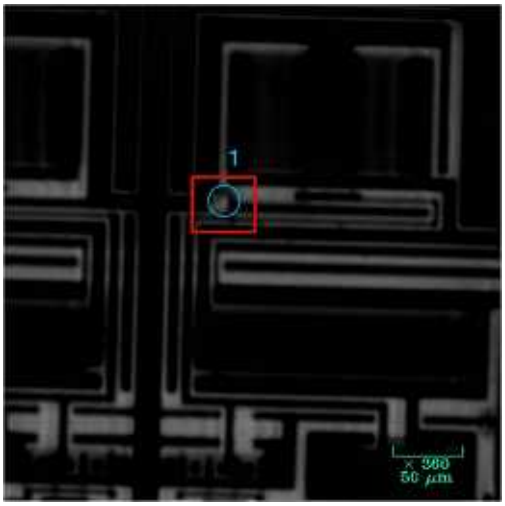


図 5-8：故障箇所 1 の OBIC 像

図 5-8 の青丸はエキシマレーザを照射した箇所で, 赤で囲った箇所は正常品と異なった反応を示した箇所である．レーザで GND オープンを行うことにより, OBIC 像からレーザ痕を確認することができたが，OBIC 像の違いを検出することはできなかった．下記の図 5-9 は図 5-8 のレーザ痕を倍率 1800 倍に拡大したものである．

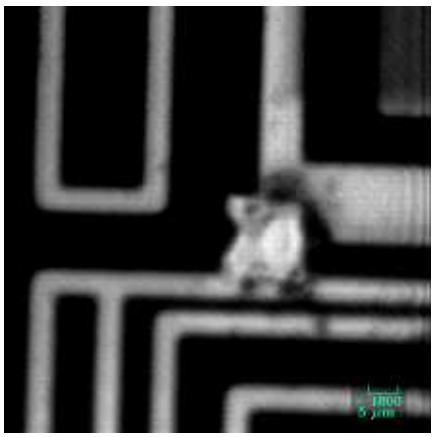


図 5-9：故障箇所 1 拡大

図 5-10 は正常サンプルの OBIC 像である．図 5-11 は図 5-4 で故障箇所を作り込んだ AND 回路の OBIC 像である. 故障箇所 2 では拡散層にレーザ照射を行い, ピンホール破壊を作成したが故障特性を検出することはできなかった．故障箇所 3 ではレーザで Vdd オープンを作成することにより，赤で囲った箇所の輝度の低下を確認することができた.

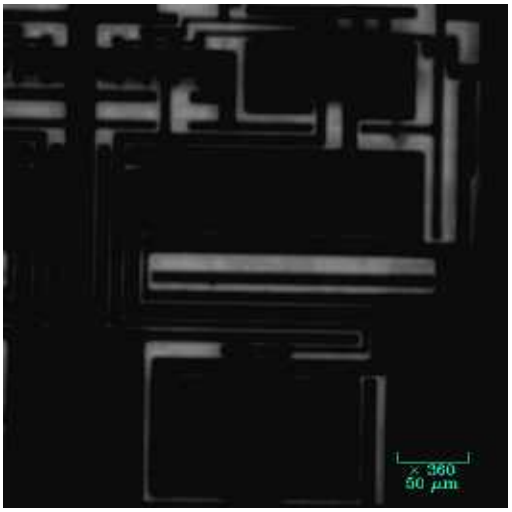


図 5-10： 正常サンプル

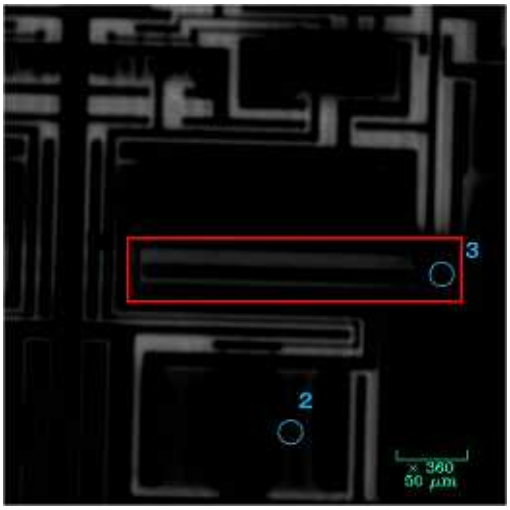


図 5-11：故障箇所 2,3 の OBIC 像

下記の図 5-12, 図 5-13 は故障箇所 2, 3 を倍率 1800 倍に拡大したものである. 図 5-12 は図 5-11 の OBIC 像では確認できなかったピンホールでのレーザ痕を確認できた.

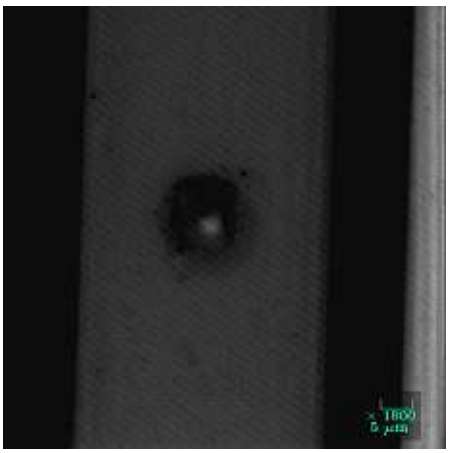


図 5-12：故障箇所 2 拡大

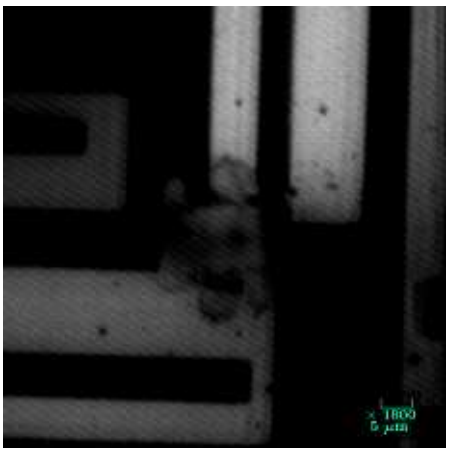


図 5-13：故障箇所 3 拡大

図 5-13 は正常サンプルの OBIC 像である．図 5-14 は図 5-5 で故障箇所を作り込んだ AND 回路の OBIC 像である．故障箇所 4 では Pch 側面にレーザ照射を行ったが、レーザ痕，故障特性を検出することはできなかった.

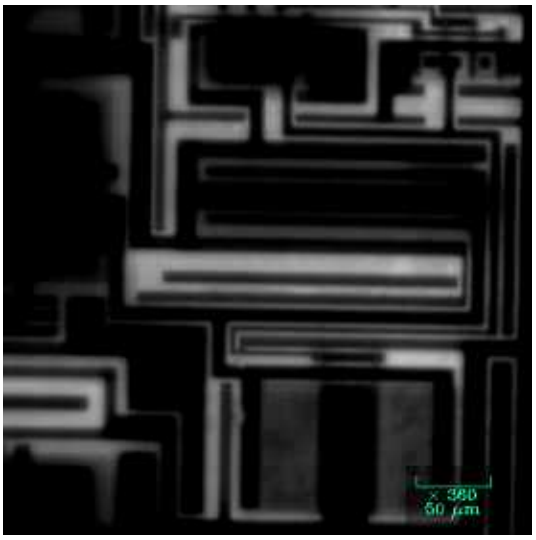


図 5-13：正常サンプル

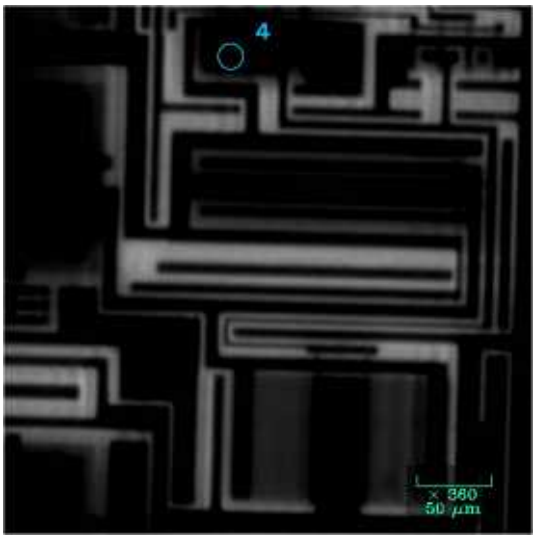


図 5-14：故障箇所 4 の OBIC 像

4 つの故障箇所を作り込み正常サンプルの OBIC 像と比べた結果，故障箇所 3 の Vdd オープンを行った図 5-11 の赤四角の部分から輝度の低下を確認することができた．これは，Pch がソースから Vdd の供給を十分に受けられてなく Pch 側の電位障壁が低下したからと考えられる.

4 つの故障箇所から故障特性の検出ができたのはこの 1 つであり，残りの 3 つからはレーザ痕を確認することはできたが，OBIC 像の輝度の変化を確認すことはできなかった.

5.3 OBIC 装置による解析 2

故障サンプル内の故障を作り込んだ 3 つの AND 回路のうち，唯一輝度の低下を確認することができた図 5-11 の回路を使って，さらなる OBIC 装置による OBIC 像の解析を行った．本実験では第 4 章 4.2 で行った実験と同じく，サンプル内の Tr を内部変化させることにより OBIC 像がどのように変化をするのか観察を行った.

第 4 章 4.2 と同じく本実験でも Tr を内部変化させるため，回路の入力 A，B に 0～3V の電圧を印加して行った.

図 5-15 は入力 A，B 共に 3V のときである．図 4-8 で同条件の正常サンプルのときと同じく，off 状態のときの Nch に光電流が発生し輝度が増していることが分かる．Nch の輝度が増したことにより拡大しなくても拡散層にレーザ痕を確認することができた.

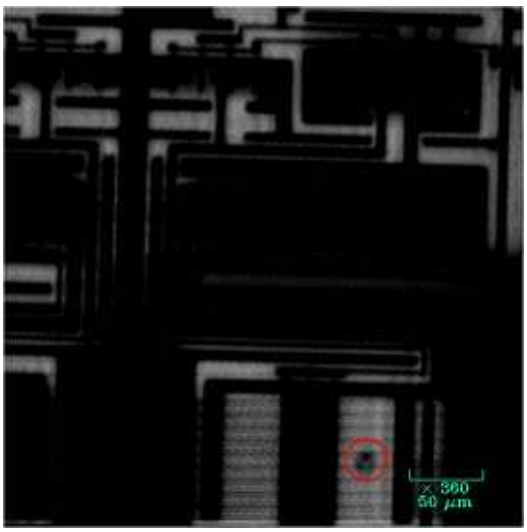


図 5-15：入力 A，B 共に 3V のとき

図 5-16 は入力 A，B 共に 0V のときである．図 4-9 で同条件の正常サンプルのときと同じく，off 状態のときの Pch に光電流が発生し輝度が増していることが分かる．入力 A が 3V，入力 B が 0V のときと，入力 A が 0V，入力 B が 3V のときの観察も図 5-16 と同様の結果を示した.

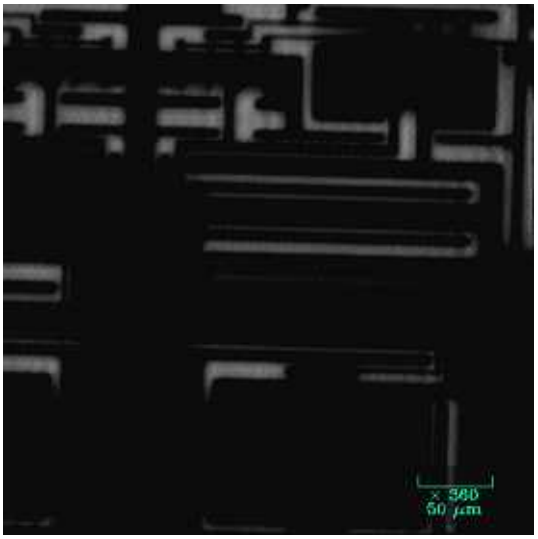


図 5-16：入力 A，B 共に 0V のとき

以上の 4 パターンの実験を行った結果, AND 回路内にある NOT 回路の Pch, Nch が off 状態のときに光電流が発生していることが確認できた，今回の故障サンプルは Tr を内部変化さしたときに, 正常サンプルと同じ OBIC 像の変化をしており，図 5-11 の Vdd オープンによる輝度の低下した故障検出箇所以外では、正常サンプルとの違いは確認できなかった.

正常サンプルと同じく，Pch が off 状態のときより Nch が off 状態ときの方が輝度の増し方が大きいことが確認できた.

第６章　結果および考察

本章では本研究の考察，結論について述べる

結果

AND 回路内にある NOT 回路の Pch，Nch が off 状態のときに光電流が発生していることが確認できた．また，Pch が off 状態のときより Nch が off 状態ときの方が輝度の増し方が大きいことが確認できた.

エキシマレーザ破壊で作成した 4 つの故障箇所から，故障特性の検出ができたのは Vdd オープンを作成した 1 箇所だけであった．他にもピンホール破壊やオープン故障の作成も行ったが，残りの 3 箇所からはレーザ痕を確認することはできても，OBIC 像の輝度の変化までは確認すことはできなかった.

今回の故障サンプルは Tr を内部変化さしたときに, 正常サンプルと同じ OBIC 像の変化をしており，違いを確認することはできなかった.

考察

Pch，Nch が off 状態のときの輝度の増加が Pch＜Nch になったのは，Pch の多数キャリアの正孔と Nch の多数キャリアの電子とでキャリアの移動度に差が生じたからと考えられる．各キャリアの移動度は、正孔は 480 ㎠／v・s、電子は 1350 ㎠／v・s となっており電子の方が大きい．そのため，発生する光電流に違いを与えたのだと考えた.

今回作成した Vdd オープンから故障特性の検出を確認することできたのは，ソースから Vdd の供給を十分に受けられてなく PN 接合面の Pch 側が，電位障壁の低下をおこしたからと考えられる.

ピンホール破壊で故障を確認できなかったのは, 拡散層の厚みでレーザが PN 接合面に到達することが出来ず，ジャンクション破壊に至らなかった事が原因と考えられる．そのため，拡散層の中心ではなく端をレーザ照射したときの方が厚みがなくジャンクション破壊を作成しやすいと考えられる.

他の破壊箇所についてはオープン故障もジャンクション破壊も成功しなかったため OBIC 像の変化を確認できなかったと考えられる.

今回の故障サンプルは Tr を内部変化さしたときに, 正常サンプルと同じ OBIC 像の変化が確認されている．違いを確認できなかった理由としては，Tr のソースに関わる配線ではなくゲートに関わる配線，もしくは側面をオープン故障させた方が，直接 Tr の on,off のスイッチング動作に関わってくるので OBIC 像の変化を確認しやすいと考えられる.

まとめ

正常サンプルでの Tr の入力信号による内部変化と OBIC 像との関係性を理解することができた．また，OBIC 像の正常品と故障品を比較することにより，表面上では確認できない内部の故障特性の検出を発見することができた.

故障箇所作成の際に，ジャンクション破壊による故障個所の作成することができなかった. また, 故障サンプルの内部変化による OBIC 像の変化に関する故障を確認することができなかった.

よって今後は，エキシマレーザで拡散層の端とドレイン側面にレーザ照射することで，ジャンクション破壊とオープン故障を作成し故障解析を行いたいと考える。

謝辞

本論文を書くにあたり，終始丁寧なご指導を賜りました真田克教授に心から深く感謝申し上げます．また常日頃相談にのってくださった研究室の先輩方に深く感謝申し上げます

参考文献

［1］志村史夫著　『固体電子論入門』丸善株式会社　［1998］

［2］大出孝博著　『レーザ捜査顕微鏡の開発』日経サイエンス［1990］
『光電流を計るレーザ顕微鏡』
レーザーオリジナル　第 24 巻第 10 号　［1996］

［3］真田克著　『レーザプロービングの作り込みによる LSI 内部動作解析』
電子情報通信学会　信学技報

［4］森脇健太著　『OBIC 利用による LSI の研究』高知工科大学［2006］

［5］桑田雄一著　『レーザ照射による励起キャリアの挙動追跡』
高知工科大学［2007］

［6］兼井佑輔著　『OBIC を用いた LSI の欠落箇所の検出』
高知工科大学［2010］

［7］相良岩男著　『システム LSI 入門』日刊工業新聞社　［2000］